

BEST AVAILABLE COPY

DE 196 31 388 A 1

⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 196 31 388 A 1

⑤ Int. Cl. 6:
H 04 B 1/62
H 04 L 27/01

⑲ Aktenzeichen: 196 31 388.0
⑳ Anmeldetag: 2. 8. 96
㉑ Offenlegungstag: 2. 1. 98 ✓

DE 196 31 388 A 1

⑥ Innere Priorität:
196 24 447.1 19.06.96

⑦ Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦A Vertreter:
Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 81479
München

⑦B Erfinder:
Perthold, Rainer, Dipl.-Ing., 91058 Erlangen, DE;
Gerhäuser, Heinz, Dr.-Ing., 91344 Waischenfeld, DE

⑥B Entgegenhaltungen:
DE 33 12 030 A1
GB 22 40 893 A
US 50 23 937
US 44 65 980
EP 06 58 975 A1
WO 93 18 581

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤A Vorverzerrung für eine nichtlineare Übertragungsstrecke im Hochfrequenzbereich

⑤ Eine Schaltung zum Vorverzerren eines über eine nichtlineare Übertragungsstrecke zu übertragenden Signals weist eine Hüllkurvenerefassungseinrichtung zum Erfassen einer Hüllkurve des Signals auf. Eine Quantisierungseinrichtung zum Bilden von quantisierten Hüllkurvenwerten aufgrund der erfaßten Hüllkurve ist sowohl mit der Hüllkurvenerefassungseinrichtung als auch mit einer Tabelleneinrichtung zum Liefern von komplexen Vorverzerrungskoeffizienten, die von den quantisierten Hüllkurvenwerten und einer vorab erfaßten Übertragungsfunktion der nichtlinearen Übertragungsstrecke abhängen, verbunden. Eine von der nichtlinearen Übertragungsstrecke getrennte Bewertungseinrichtung zur komplexen Bewertung des über die nichtlineare Übertragungsstrecke zu übertragenden Signals mit den komplexen Vorverzerrungskoeffizienten ermöglicht es, daß die durch die nichtlineare Übertragungsstrecke eingeführte Verzerrung nach Betrag und Phase im wesentlichen kompensiert wird.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Modulationsverfahren, die zu einer nichtkonstanten Hüllkurve eines hochfrequenten Trägersignals führen, und insbesondere auf die Vorverzerrung für eine nichtlineare Übertragungsstrecke im Hochfrequenzbereich.

Werden in einem beispielsweise drahtlosen Kommunikationssystem Modulationsverfahren eingesetzt, die zu einer nichtkonstanten Hüllkurve des hochfrequenten Trägersignals führen, müssen alle Signalverarbeitungskomponenten nach dem Modulator eine hinreichende Linearität aufweisen. Diese Forderung ist besonders bei Leistungsverstärkerstufen, die mit einem guten Wirkungsgrad arbeiten sollen, schwer zu erfüllen.

Bei der Verwendung von Puls-Amplituden-Modulationsverfahren verschlechtert sich die spektrale Effizienz durch die Nichtlinearität der Verstärker. Der Grund dafür liegt in den nichtlinearen Amplitudenausgangskarakteristika eines Verstärkers, was zu einer AM/AM-Konversion führt, wobei ferner das Driften der Phase eines Ausgangssignals eines Verstärkers bezüglich der Phase eines Eingangssignals Intermodulationskomponenten erzeugt, was auch als AM/PM-Konversion bezeichnet wird. Die AM/AM- und die AM/PM-Konversion müssen jedoch durch geeignete Linearisierungsverfahren unterbunden werden. Wird dies nicht durchgeführt, verschlechtert sich die spektrale Effizienz des eingesetzten Modulationsverfahrens sowie der Signal/Rausch-Abstand. In digitalen Übertragungssystemen kann sich dadurch die Bitfehlerrate bei der Übertragung wesentlich erhöhen.

Insbesondere in Übertragungssystemen, die eine QPSK-Modulation verwenden (QPSK = Quaternary Phase Shift Keying = Vierphasenumtastung), wie es beispielsweise bei Mobiltelefonsystemen der Fall ist, ist es besonders wichtig, den nichtlinearen Bereich von Leistungsverstärkern auszunützen. Aufgrund der Tatsache, daß bei beispielsweise Mobiltelefonen die verfügbare Leistungsverorgung begrenzt ist, d. h. ein größerer Akku führt zu einer wesentlichen Gewichtszunahme und Verteuerung eines Mobiltelefons, muß der Endstufenverstärker mit möglichst hohem Wirkungsgrad arbeiten, was jedoch nicht in seinem linearen Verstärkungsbereich möglich ist. Leistungsverstärker mit hohem Wirkungsgrad werden daher bevorzugt in ihrem nichtlinearen Bereich in der Nähe der Sättigung betrieben, was zu nichtlinearen Verzerrungen mit den beschriebenen Problemen führt.

Modulationsverfahren, die neben der PAM-Modulation eine Linearisierung erfordern, sind grundsätzlich alle Mehrträgerverfahren, (z. B. COFDM beim digitalen Rundfunk) und alle Pulsamplitudenmodulations-Verfahren, zu denen neben der QPSK-Modulation auch die QAM-Modulation gehört. Weitere Einsatzmöglichkeiten für die Vorverzerrung einer nichtlinearen Übertragungsstrecke bestehen im Bereich der Basisstationen von Mobilfunksystemen, wenn mehrere Frequenzkanäle parallel auf eine Senderendstufe gegeben werden.

Es besteht also ein Bedarf nach einem geeigneten Linearisierungsverfahren basierend auf der Vorverzerrung. Dieses könnte in allen Fällen Anwendung finden, in denen allgemein eine nichtlineare Übertragungsstrecke linearisiert werden soll. Die Linearisierung einer nichtlinearen Übertragungsstrecke sollte ferner zulassen, daß sich der Frequenzbereich des Eingangssignals in die zu entzerrende nichtlineare Übertragungsstrecke von dem Frequenzbereich des Ausgangssignales aus der

nichtlinearen Übertragungsstrecke heraus unterscheiden kann. Die Linearisierung darf daher nicht auf reine Verstärkerstufen beschränkt sein, sondern es müssen auch Frequenzumsetzungen innerhalb der nichtlinearen Übertragungsstrecke vorgenommen werden können.

In der Technik existieren bereits mehrere Verfahren zum Linearisieren von Hochfrequenzendstufen. Die bekanntesten Verfahren zum Linearisieren von Hochfrequenzendstufen lassen sich folgendermaßen einordnen.

Bei der digitalen Vorverzerrung eines zu übertragenden Signales werden die digital dargestellten Werte des Signals mit geeignet gewählten Koeffizienten multipliziert. Die Vorverzerrung erfolgt somit zusammen mit dem digitalen Erzeugen des Steuersignals des Modulators.

Ein weiteres bekanntes Verfahren ist die analoge Vorverzerrung. Sie bedient sich nichtlinearer Bauteile, wie z. B. Schottky-Dioden, um eine zu der Verstärkerverzerrungskennlinie komplementäre Entzerrungskennlinie zu synthetisieren.

Die "kartesische Schleife" ("auch Cartesian Loop" genannt) stellt eine analoge Gegenkopplung der Hochfrequenzendstufe dar, welche im Basisband durchgeführt wird.

Die Vorwärtskopplung (in der Technik auch "Feed-forward" genannt) stellt im Sinne der Regelungstechnik eine Störgrößenaufschaltung dar, wobei zu dem Ausgangssignal der Endstufe eine entsprechende Korrekturspannung addiert wird, um die Verzerrung der Endstufe zu kompensieren.

In der WO 93/18581 ist eine "Cartesian Loop" beschrieben, deren Parameter entsprechend verschiedener Systemparameter, die den aktuellen Betriebszustand des Systems widerspiegeln, eingestellt werden. Ein Funksendegerät weist dabei einen Leistungsverstärker, eine Linearisierungseinrichtung und eine Rückkopplungseinrichtung zum Rückkoppeln eines Signals von einem Ausgang des Leistungsverstärkers zu der Linearisierungseinrichtung auf, um die Linearität des Ausgangssignals sicherzustellen. Die Linearisierungseinrichtung arbeitet im Basisband, wobei die IQ-Signale von einer linearen Steuerung gesteuert werden, welche mit einer Direktzugriffstabelle verbunden ist, welche vorbestimmte Schleifenlinearisierungsparameter speichert. Nachdem die IQ-Signale durch die Linearisierungseinrichtung geeignet verarbeitet worden sind, werden diese verarbeiteten Signale mittels eines Aufwärtsmischers hochgemischt und durch den Leistungsverstärker verstärkt. Die Rückkopplungseinrichtung nimmt ein Ausgangssignal des Leistungsverstärkers, mischt es mittels eines Abwärtsmischers herunter, und speist das heruntergemischte Signal in die Linearisierungseinrichtung ein. Die Linearisierung erfolgt daher nicht im Hochfrequenzbereich, sondern im Basisbandbereich, da auf die IQ-Signale zugegriffen wird. Ferner verwirklicht die beschriebene Schaltung eine dauerhafte Gegenkopplung der HF-Endstufe im Sinne einer Cartesian Loop.

Die GB 2240893 A offenbart eine Schaltung zur Linearisierung der Amplitudenantwort und der Phasenantwort eines Verstärkers. Eine Hüllkurvendetektor-schaltung erfaßt die Hüllkurve eines zu übertragenden Eingangssignales, wobei das Ausgangssignal der Hüllkurvendetektorschaltung in eine Steuerschaltung vom nichtlinearen Typ sowie in eine Phasenschiebersteuer-schaltung eingegeben wird. Die Phasenschiebersteuer-schaltung steuert einen Phasenschieber, der vor dem Leistungsverstärker angeordnet ist, um das Hochfre-

quenzsignal phasenmäßig vorzuverzerren. Die Steuerung vom nichtlinearen Typ liefert ein Eingangssignal in einen spannungsvariablen Gleichspannungs-Gleichspannungswandler, welcher die Vorspannungsparameter, d. h. den Arbeitspunkt des Leistungsverstärkers geeignet einstellt, um die Verzerrung des nichtlinearen Verstärkers zu kompensieren. Der Amplitudenfehler der Verstärkers wird daher über dessen Arbeitspunkteinstellung kompensiert, was den Nachteil besitzt, daß die Arbeitspunktparameter des Verstärkers ständig geändert werden müssen, was eine Anpassung des Verstärkers an eine Last wesentlich erschweren kann. Üblicherweise erfordert nämlich ein geänderter Arbeitspunkt automatisch ein anderes (komplexes) Transformationsverhältnis des Ausgangswiderstandes.

Das US-Patent Nr. 5,023,937 stellt eine analoge Vorverzerrungsschaltung für einen im nichtlinearen Bereich betriebenen Leistungsverstärker dar. Diese Vorverzerrung arbeitet mittels einer Gegenkopplungsschleife, bei der im Gegensatz zur Cartesian Loop nicht die IQ-Komponenten des Ausgangssignals geregelt werden, sondern der Betrag und die Phase desselben. Ein Hüllkurvendetektor erfaßt die Amplitude des zu verstärkenden Signals, welche durchgehend rückkopplungsmäßig mit der Hüllkurve des Ausgangssignals des Leistungsverstärkers verglichen wird, wobei das Vergleichsergebnis an ein variables Dämpfungsglied angelegt ist, das das Eingangssignal vor dem Leistungsverstärker geeignet dämpft, um ein möglichst lineares Ausgangssignal zu erzeugen. Die Phasenvorverzerrung wird mittels einer Phasenregelschleife durchgeführt, die als Eingangssignal das zu verstärkende Signal erhält. Ein Teil des Ausgangssignals des Verstärkers wird mittels eines Mischers, eines Lokaloszillators und einer Phasenschieberschaltung ebenfalls in die Phasenregelschleife eingegeben, welche ein Lokaloszillatorsignal für einen vor dem Leistungsverstärker angeordneten Mischer liefert, um das zu verstärkende Signal phasenmäßig geeignet vorzuverzerren. Diese Schaltung arbeitet vollständig analog und basiert auf einer im wesentlichen durchgehenden Rückkopplung, falls die vorhandene Phasenregelschleife eingerastet ist.

Das US-Patent Nr. 4,465,980 stellt ebenfalls eine analoge Vorverzerrungsschaltung dar. Ein Detektor erfaßt die Hüllkurve eines zu verstärkenden Signals und legt dieses Signal an einen Feldeffekttransistor mit zwei Gate-Anschlüssen ("Dual Gate FET") an. An das andere Gate des Dual-Gate-FET wird das zu verstärkende Signal angelegt. Durch geeignetes Steuern des Arbeitspunktes dieses Dual-Gate-FET wird das HF-Eingangssignal geeignet vorverzerrt, um die nichtlineare Verstärkung eines Leistungsverstärkers, der über ein Anpassungsnetzwerk mit dem Drain-Anschluß des Dual-Gate-FET verbunden ist, zu kompensieren.

Die DE 33 12 030 A1 offenbart einen Verstärker mit Vorverzerrungskompensation, welcher Vorverzerrungskomponenten verwendet, die von einem dem Verstärkungsbauteil ähnlichen Leistungsverstärkungsbauteil erzeugt werden, um eine wirksame Linearisierung zur wesentlichen Reduzierung aller Intermodulations-Verzerrungsprodukte zu erreichen. Ferner kann eine zusätzliche Rückkopplungsschaltung vorgesehen werden, um eine weitere Verringerung von Nichtlinearitäten zu erreichen.

Die GB 8723874 offenbart eine Linearitätskorrekturschaltung, die in einem Zwischenfrequenzbereich arbeitet, um eine geeignete Vorverzerrung in eine Amplitudenhüllkurve einzuführen, um die Nichtlinearität der

Leistungsverstärkerstufen zu kompensieren. Ein Array von parallelen Stromquellen, von denen jede als Reaktion auf eine Vorverzerrung über einem entsprechenden Amplitudenband einstellbar ist, speist einen Strom ein, der ausreichend ist, um eine geeignete Differenzspannung an dem Ausgang einzuführen. Bei dieser Schaltung findet offensichtlich keine Phasenvorverzerrung statt.

Die EP 0 658 975 A1 bezieht sich auf ein Basisbandvorverzerrungssystem für die adaptive Linearisierung von Leistungsverstärkern und auf einen Funksender, der das Vorverzerrungssystem verwendet. Dabei werden zwei Fehlertabellen, und zwar eine für die Amplitude und eine für die Phase, aktualisiert, wobei der Inhalt derselben zum Korrigieren der Basisbandabstastwerte verwendet wird. Der Inhalt der Tabellen wird erhalten, indem eine geeignet gewichtete Differenz zwischen Abstastwerten, die in das Vorverzerrungsgerät eingegeben werden, und einem demodulierten Rückkopplungswert akkumuliert wird. Eine Vorverzerrung wird also ähnlich zu der WO 93/1851, wie vorher beschrieben wurde, nicht im Hochfrequenzbereich, sondern digital im Basisband durchgeführt, wobei ein Zugriff auf die digitale Signalaufbereitung im Basisband vorhanden sein muß.

Eine digitale Vorverzerrung, wie sie in der EP 0 658 975 A1 und in der WO 93/18581 beschrieben ist, bedingt eine Zugriffsmöglichkeit auf das Modulationssignal, bevor es von einer digitalen Darstellung in einen Analogspannungswert umgewandelt wird, um die erforderlichen digitalen Berechnungen zur Korrektur von Trägeramplitude und Trägerphase durchführen zu können. Dieser Zugriff ist in vielen Fällen nicht gegeben, da nur innerhalb des abgeschlossenen Systems der Leistungsstufe linearisiert werden kann.

Bei der analogen Vorverzerrung des Hochfrequenzsignals ergibt sich das Problem, eine geeignete Kennlinie aus nichtlinearen Bauteilen synthetisieren zu müssen, welche Exemplarstreuungen, Temperaturdrift, Alterung usw. aufweisen. Bei Alterung der Bauteile kann sich die Nichtlinearität verstärken.

Die "Cartesian Loop", d. h. eine HF-Gegenkopplung, reagiert sehr empfindlich auf Parameterschwankungen. Durch die hohe Verstärkung besteht ferner eine erhebliche Schwingneigung der gesamten Anordnung bei nicht exakt ermittelten Parametern der Rückkopplung. Ebenfalls wird durch die Gegenkopplung das Rauschverhalten der Endstufe drastisch verschlechtert, da die Gegenkopplung ihrerseits unkorreliertes Rauschen in die Verstärkerstufe einführt.

Das "Feedforward"-Verfahren erfordert eine genaue Bestimmung der Signallaufzeiten der Endstufe. Die Linearitätsanforderungen an das Korrektursignal sind hoch, weshalb bei einer Schaltung, die eine Linearisierung gemäß dem Vorwärtskopplungsverfahren durchführt, hochwertige und teure Leistungsverstärker eingesetzt werden müssen.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Schaltung zum Vorverzerrern eines über eine nichtlineare Übertragungsstrecke zu übertragenden Signals und ein Verfahren zum Vorverzerrern eines derartigen Signals zu schaffen, um auf flexible und zuverlässige Art und Weise eine optimale Kompensation der durch die nichtlineare Übertragungsstrecke eingeführten Verzerrung zu erreichen.

Diese Aufgabe wird durch eine Schaltung gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 14 gelöst.

Bei der Vorverzerrung besteht das Kernproblem darin, eine Realisierung einer nichtlinearen Kennlinie zu finden, die mit hinreichender Genauigkeit einstellbar ist und durch lineare Bauteile realisiert werden kann. Da es, wie bereits angemerkt wurde, schwierig ist, eine nichtlineare Kennlinie beispielsweise durch Schottky-Dioden nachzubilden, verwendet die vorliegende Erfindung eine Tabelleneinrichtung, die Vorverzerrungskoeffizienten enthält, die von der Amplitude des Eingangssignals sowie von den Eigenschaften der nichtlinearen Übertragungsstrecke, die beispielsweise ein Verstärker oder eine Verstärker-Mischer-Anordnung sein kann, abhängen. Die Vorverzerrung erfolgt durch Multiplikation des Eingangssignals mit den komplexen Vorverzerrungskoeffizienten. Diese Vorverzerrungskoeffizienten sind komplexe Zahlen, die einen Realteil, d. h. eine I-Komponente, und einen Imaginärteil, d. h. eine Q-Komponente, aufweisen.

Im äquivalenten Tiefpaßbereich wird daher ein komplexes Ausgangssignal $y(t)$ aus einem komplexen Eingangssignal $v(t)$ gemäß folgender Gleichung erzeugt:

$$y(t) = v(t)A(|v(t)|)$$

In dieser Gleichung stellt $A(|v(t)|)$ die komplexe Verstärkung dar, die erforderlich ist, um die AM/AM- und die AM/PM-Konversion der nichtlinearen Übertragungsstrecke zu korrigieren. Diese nichtlineare Funktion hängt im wesentlichen von der Amplitude des Eingangssignals $v(t)$ ab. Die Aufgabe besteht nun darin, diese komplexe Funktion A geeignet zu linearisieren, um das Eingangssignal $v(t)$ geeignet vorverzerrt zu können. Die Lösung dieser Aufgabe besteht in einer abschnittswise Linearisierung der komplexen Verstärkung, wobei in einer bestimmten Staffelfung für jede Eingangssignalamplitude ein komplexer Vorverzerrungskoeffizient gewonnen wird. Die nichtlineare Verstärkung A wird also abschnittsweise linearisiert, wobei die Auflösung, d. h. die Anzahl der Linearisierungen in einem bestimmten Amplitudenbereich, von den Anforderungen sowie von der zur Verfügung stehenden Speicherkapazität der Tabelleneinrichtung abhängt. Die abschnittsweise Linearisierung der komplexen Verstärkung A , d. h. die Vielzahl von komplexen Vorverzerrungskoeffizienten, erlaubt also eine praktische Implementierung des Verfahrens, welche es gestattet, die Vorverzerrung direkt im HF-Bereich durchzuführen.

Die Vorverzerrung mit abschnittsweise konstanten Vorverzerrungskoeffizienten ist besonders dort vorteilhaft, wo kein Zugriff auf die digitale Darstellung des Signals (im Basisband) möglich ist. Ferner ist das erfindungsgemäße Vorverzerrungsverfahren gegenüber Parameterschwankungen unempfindlich, da alle Parameterschwankungen durch geeignetes Einstellen der Vorverzerrungskoeffizienten kompensiert werden können.

Das Rauschverhalten der nichtlinearen Übertragungsstrecke wird nicht wesentlich verschlechtert, da im Gegensatz zur HF-Gegenkopplung kein unkorreliertes Rauschen in den Signalweg eingeführt wird. Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung gegenüber Vorverzerrungsverfahren, die eine Rückkopplung verwenden, besteht darin, daß die nichtlineare Übertragungsstrecke gegen Rückkopplungsschwingungen unempfindlich ist, da kein direkter Rückkopplungspfad vorhanden ist.

Wesentlich für das erfindungsgemäße Vorverzerrungsverfahren ist eine genaue und effiziente Bestimmung der in der Tabelleneinrichtung vorhandenen Vor-

verzerrungskoeffizienten. Diese müssen jedoch nicht in Echtzeit durchgehend bestimmt werden, sondern es ist ausreichend, dieselben beispielsweise vor Inbetriebnahme der Schaltung oder zu bestimmten Kalibrierzeitpunkten digital zu berechnen.

Die Verzögerungszeit der erfindungsgemäßen Vorverzerrung ist von vorneherein festgelegt und nicht von irgendwelchen Parametern abhängig, da die Vorverzerrung durch einen externen Takt synchronisiert ist. Eine Kompensation der Verzögerungszeit ist daher auf einfache Art und Weise zuverlässig möglich.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockdiagramm einer Schaltung zum Vorverzerrern gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 2 ein Blockdiagramm einer Schaltung zum Vorverzerrern gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

Wie es in Fig. 1 gezeigt ist, gelangt ein Eingangssignal in eine Vorverzerrungsschaltung 10 über eine Verzögerungseinrichtung 12 in eine Bewertungseinrichtung 14 zum komplexen Bewerten des Eingangssignals $v(t)$ mit komplexen Vorverzerrungskoeffizienten, welche in einer Tabelleneinrichtung 16 gespeichert sind. Die Bewertungseinrichtung 14 kann beispielsweise eine Einrichtung zum komplexen Multiplizieren eines Eingangssignals, d. h. ein IQ-Modulator, sein.

Die Bewertungseinrichtung 14 erhält von der Tabelleneinrichtung 16 von der Amplitude des Eingangssignals $v(t)$ und von der Übertragungsfunktion einer nichtlinearen Übertragungsstrecke 18 abhängige komplexe Vorverzerrungskoeffizienten. Der Realteil eines komplexen Vorverzerrungskoeffizienten wird über einen I-Kanal 20a in die Bewertungseinrichtung 14 eingegeben, während der Imaginärteil eines einer bestimmten Eingangsamplitude entsprechenden Vorverzerrungskoeffizienten über einen Q-Kanal in die komplexe Bewertungseinrichtung 14 eingegeben wird.

Die Tabelleneinrichtung 16 wird von einer Quantisierungseinrichtung 22 adressiert, welche quantisierte Hüllkurvenwerte bildet, und zwar in Abhängigkeit der Hüllkurve des Eingangssignals $v(t)$, die von einer Hüllkurvenerefassungseinrichtung 24 erfaßt wird. Ein geeigneter Anteil des Eingangssignals $v(t)$, der zur Erfassung der Hüllkurve nötig ist, kann auf für Fachleute bekannte Art und Weise, wie z. B. durch einen Richtkoppler, aus dem Hauptsignalweg, der in Fig. 1 der direkten Verbindung von $v(t)$ zu $y(t)$ entspricht, entnommen werden.

Wie bereits erwähnt wurde, werden bei der vorliegenden Erfindung die Vorverzerrungskoeffizienten, die in der Tabelleneinrichtung 16 gespeichert sind und durch die Quantisierungseinrichtung 22 geeignet adressiert werden, außerhalb des Betriebs der Schaltung, z. B. bei der Schaltungsherstellung oder bei der Inbetriebnahme, berechnet und abgespeichert. Um zu bestimmten Zeitpunkten während des Betriebs der Schaltung 10 eine Feinabstimmung der Vorverzerrungskoeffizienten durchführen zu können, kann optional eine Vergleichseinrichtung 26 vorgesehen sein, die das Eingangssignal $v(t)$ und das Ausgangssignal $y(t)$ vergleicht, um festzustellen, ob zwischen beiden ein linearer Zusammenhang, wie z. B. eine einfache Verstärkung, besteht. Sollte kein linearer Zusammenhang vorhanden sein, deutet dies darauf hin, daß sich Umgebungsbedingungen verändert haben, weswegen die Vorverzerrungskoeffizienten

nicht mehr optimal eingestellt sind. In einem Neukalibrationsschritt greift nun die Vergleichseinrichtung 26 auf die Tabelleneinrichtung 16 zu, um die Vorverzerrungskoeffizienten entsprechend den neuen Umgebungsbedingungen geeignet zu modifizieren.

Im Betrieb wird ein bestimmter Bruchteil des Eingangssignals $v(t)$ durch die Hüllkurvenfassungseinrichtung 24, die beispielsweise ein Diodengleichrichter sein kann, möglichst linear gleichgerichtet, um den Betrag der Amplitude des Eingangssignals $v(t)$ zu gewinnen. Diese Hüllkurve des Eingangssignals wird der Quantisierungseinrichtung 22 zum Bilden von quantisierten Hüllkurvenwerten aufgrund der erfaßten Hüllkurve zugeführt. Mittels dieser quantisierten Hüllkurvenwerte wird die Tabelleneinrichtung 16 adressiert, die die komplexen Vorverzerrungskoeffizienten beispielsweise in kartesischer Darstellung enthält. Der einer speziellen Amplitude der Hüllkurve entsprechende komplexe Vorverzerrungskoeffizient wird als Reaktion auf eine Adressierung der Tabelleneinrichtung über den I-Kanal und über den Q-Kanal nach Real- bzw. Imaginärteil der Bewertungseinrichtung 14 zugeführt, die als komplexer IQ-Modulator ausgeführt ist und die dem Eingangssignal $v(t)$ eine zum Erhalten eines linear verstärkten Ausgangssignals $y(t)$ der nichtlinearen Übertragungsstrecke 18 erforderliche Vorverzerrung aufmoduliert. Die Linearität des Gleichrichters ist nicht zwingend erforderlich, solange sein Verhalten bekannt ist. Unzulänglichkeiten können bei der Festlegung der komplexen Koeffizienten in der Tabelle entsprechend kompensiert werden. Etwaige geringe Nichtlinearitäten des Multiplizierers können durch eine adaptive Entzerrung, die die Vergleichseinrichtung 26 verwendet, automatisch ausgeglichen werden. Die Koeffizienten werden entsprechend modifiziert.

Der Signalweg über die Hüllkurvenfassungseinrichtung 24, die Quantisierungseinrichtung 22 und die Tabelleneinrichtung 16 sowie das Einstellen der komplexen Vorverzerrungskoeffizienten weist eine geringe Verzögerungszeit in der Größenordnung von < 100 ns auf. Sofern erforderlich kann diese Verzögerungszeit durch die der Bewertungseinrichtung 14 vorgeschaltete Verzögerungseinrichtung 12 ausgeglichen werden.

Bei der Entzerrung der nichtlinearen Übertragungsstrecke 18 kann das Verhalten derselben durch ihre Übertragungsfunktion, d. h. den Quotient aus dem verzerrten Ausgangssignal und dem Eingangssignal, nach Betrag und Phase charakterisiert werden. Diese Übertragungsfunktion kann im HF-Bereich erhalten werden. Eine vorherige Frequenzumsetzung in das Basisband oder auf eine Zwischenfrequenz ist jedoch ebenfalls optional möglich. Aus der Übertragungsfunktion der nichtlinearen Übertragungsstrecke 18 können dann Schätzwerte für die AM/AM- und die AM/PM-Kennlinie der nichtlinearen Übertragungsstrecke 18 berechnet werden. Die entsprechenden Vorverzerrungskoeffizienten werden dann anschließend aus den Meßwerten ermittelt und entsprechend in der Tabelleneinrichtung 16 gespeichert.

Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorverzerrungsschaltung 10. In Fig. 1 und Fig. 2 gleiche Komponenten sind durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet. Im Zusammenhang mit Fig. 2 werden lediglich die neu hinzugekommenen Schaltungskomponenten näher erläutert, wobei bezüglich der in Fig. 2 und Fig. 1 vorhandenen Komponenten auf deren Beschreibung im Zusammenhang mit Fig. 1 verwiesen wird.

Im Unterschied zu Fig. 1 enthält die Vorverzerrungsschaltung 10 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung einen Eingangsabwärtsmischer 30 sowie einen Ausgangsabwärtsmischer 32. Beide Abwärtsmischer 30, 32 liefern jeweils zwei Werte, die beispielsweise Real- und Imaginärteil des Eingangsbzw. des Ausgangssignals sein können, in die Vergleichseinrichtung 26, die beim zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ein digitaler Signalprozessor sein kann. Ferner weist das zweite Ausführungsbeispiel zwischen der Tabelleneinrichtung 16 und der Bewertungseinrichtung 14 für den I-Zweig sowie für den Q-Zweig jeweils eine Kombination aus einem Digital/Analog-Wandler 34a, 34b sowie einem nachgeschalteten Tiefpaß 36a, 36b auf. Die Tiefpaßfilterung des I- und des Q-Zweiges dienen zur wirksamen Unterdrückung von Nebenausstrahlungen in Nachbarfrequenzkanäle. Die Quantisierungseinrichtung 22, die beispielsweise ein Analog/Digital-Wandler sein kann, und die Digital/Analog-Wandler 34a, 34b werden durch einen gemeinsamen Takt 38 getaktet, wobei jedoch der Takt für die Digital/Analog-Wandler 34a, 34b durch eine Taktverzögerungseinrichtung 40 im Vergleich zu dem Takt der Quantisierungseinrichtung 22 geeignet verzögert ist, um die Verzögerung der Tabelleneinrichtung 16 zu berücksichtigen. Die Verzögerung der Taktverzögerungseinrichtung 40 sowie die Verzögerung der Tabelleneinrichtung 16 werden so gewählt, daß die Durchlaufverzögerungen der Quantisierungseinrichtung 22 und der Tabelleneinrichtung 16 kleiner als die Zeitverzögerung der Taktverzögerungseinrichtung 40 sind. Die Bestimmung der AM/AM- und der AM/PM-Kennlinie der nichtlinearen Übertragungsstrecke, die beim zweiten Ausführungsbeispiel als Endstufe 18 ausgeführt ist, erfolgt über das durch den Eingangsabwärtsmischer 30 demodulierte Eingangssignal $v(t)$ sowie über das durch den Ausgangsabwärtsmischer 32 demodulierte Ausgangssignal $y(t)$.

Das zweite Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung kann beispielsweise die Endstufe in einem Hauptsender oder Füllsender für den digitalen Rundfunk linearisieren, um die Aussendung in den Nachbaranälen unterhalb der geforderten Grenzwerte zu halten und gleichzeitig eine geringe Verlustleistung der Endstufe 18 zu erreichen.

In Abweichung der beschriebenen Ausführungsbeispiele ist es ferner möglich, die Realisierung der Vorverzerrung durch A/D-Umsetzung in der Quantisierungseinrichtung 22, durch die Tabelle in der Tabelleneinrichtung 16 sowie durch die D/A-Umsetzung in den beiden Digital/Analog-Wandlern 34a, 34b durch eine einzige Einheit zu realisieren, die in Form einer integrierten Schaltung vorhanden ist. Bei dieser Realisierung kann, wie es beim ersten Ausführungsbeispiel der Fall ist, auf die Digital/Analog-Umsetzung 34a, 34b verzichtet werden, wobei es die Schaltungsintegration ermöglicht, die Vorverzerrung lediglich durch eine Quantisierung und eine nachfolgende Zuweisung eines analogen Ausgangssignals zu realisieren, welches noch gering vom analogen Eingangssignal abhängt, was die benötigte Auflösung für die Vorverzerrungskoeffizienten reduzieren kann. Die integrierte Schaltung weist hierbei programmierbare Stromquellen auf, deren Werte adaptiv nachgeführt werden. Vorteile dieser Realisierung sind eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie ein geringerer Stromverbrauch der Vorverzerrungsschaltung 10.

Ferner ist es bei dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungs-

beispiel optional möglich, die Hüllkurvenfassungseinrichtung 24 vor der Auslieferung der Schaltung oder nach bestimmten Kalibrationsintervallen zu kalibrieren. Das Eingangssignal in die Hüllkurvenfassungseinrichtung 24 steht über den Eingangsabwärtsmischer 30 zur Verfügung, während das Ausgangssignal der Hüllkurvenfassungseinrichtung als quantisierte Adressierung der Tabelleneinrichtung 16 vorliegt. Dies ermöglicht es, bei Bedarf die quantisierten Ausgangswerte der Hüllkurvenfassungseinrichtung 24 ebenfalls in den digitalen Signalprozessor 26 einzulesen und außerhalb des Betriebs der Vorverzerrungsschaltung 10 die Kennlinie der Hüllkurvenfassungseinrichtung durch Vergleich der beiden genannten Signale zu bestimmen. Dies kann für eine Korrektur der in der Tabelleneinrichtung 16 gespeicherten Vorverzerrungskoeffizienten auf vorteilhafte Weise ausgenutzt werden.

Bei den meisten nichtlinearen Übertragungsstrecken, welche beispielsweise Leistungsverstärker sein können, bleibt der eingeführte Phasenfehler innerhalb eines Quadranten, d. h. zwischen 0° und 90° . Dann wird es ausreichend sein, statt des komplexen IQ-Modulators, der ein Vierquadrantenmultiplizierer ist, eine Anordnung bestehend aus einem $\pi/2$ -Hybrid, je einem Dämpfungsglied für den I- bzw. für den Q-Kanal und einem nachfolgenden 0° -Kombinierer zu verwenden. Diese Bewertungseinrichtung hat gegenüber dem komplexen (passiven) IQ-Multiplizierer den Vorteil, daß sie eine höhere Linearität aufweisen kann.

Patentansprüche

1. Schaltung (10) zum Vorverzerren eines über eine nichtlineare Übertragungsstrecke (18) zu übertragenden Signals (v), mit folgenden Merkmalen:
einer Hüllkurvenfassungseinrichtung (24) zum Erfassen einer Hüllkurve des Signals (v);
einer Quantisierungseinrichtung (22) zum Bilden von quantisierten Hüllkurvenwerten aufgrund der erfaßten Hüllkurve;
einer Tabelleneinrichtung (16) zum Liefern von komplexen Vorverzerrungskoeffizienten, die von den quantisierten Hüllkurvenwerten und von einer vorab erfaßten Übertragungsfunktion der nichtlinearen Übertragungsstrecke (18) abhängen; und
einer von der nichtlinearen Übertragungsstrecke (18) getrennten Bewertungseinrichtung (14) zum komplexen Bewerten des Signals (v) mit den komplexen Vorverzerrungskoeffizienten, derart, daß die durch die nichtlineare Übertragungsstrecke (18) eingeführte Verzerrung nach Betrag und Phase im wesentlichen kompensiert ist.
2. Schaltung (10) gemäß Anspruch 1, bei der die nichtlineare Übertragungsstrecke (18) ein Leistungsverstärker ist.
3. Schaltung (10) gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der die Quantisierungseinrichtung (22) ein Analog/Digital-Wandler ist.
4. Schaltung gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Hüllkurvenfassungseinrichtung (24) eine Diodengleichrichteranordnung ist.
5. Schaltung (10) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Bewertungseinrichtung (14) ein IQ-Modulator ist.
6. Schaltung gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Bewertungseinrichtung (14) eine Anordnung aus einem $\pi/2$ -Hybrid, aus zwei

zueinander parallel geschalteten Dämpfungsgliedern und aus einem 0° -Kombinierer aufweist.

7. Schaltung gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Quantisierungseinrichtung (22) und die Tabelleneinrichtung (16) in einer einzigen integrierten Schaltung realisiert sind, derart, daß in der integrierten Schaltung vorhandene programmierbare Quellen als Reaktion auf die quantisierten Hüllkurvenwerte gesteuert werden, um der Bewertungseinrichtung (14) analoge IQ-Signale zu liefern.

8. Schaltung gemäß einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 6, bei der zwischen der Tabelleneinrichtung (16) und der Bewertungseinrichtung (14) Digital/Analog-Wandler (34a, 34b) für sowohl das I- als auch das Q-Signal sowie Tiefpaßfilter (36a, 36b) angeordnet sind.

9. Schaltung (10) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei der signalflußmäßig vor der Bewertungseinrichtung (14) eine Verzögerungseinrichtung (12) angeordnet ist, um die durch die Strecke von der Quantisierungseinrichtung (22) zu der Bewertungseinrichtung (14) eingeführte zeitliche Verzögerung zu kompensieren.

10. Schaltung (10) gemäß einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche, bei der eine Vergleichseinrichtung (26) das über die nichtlineare Übertragungsstrecke (18) zu übertragende Signal (v) mit einem Ausgangssignal (y) der nichtlinearen Übertragungsstrecke (18) vergleicht und dementsprechend die Vorverzerrungskoeffizienten der Tabelleneinrichtung zu vorbestimmten Zeitpunkten einstellt.

11. Schaltung gemäß Anspruch 10, bei der ein Eingangsabwärtsmischer (30) das über die nichtlineare Übertragungsstrecke (18) zu übertragende Signal (v) und ein Ausgangsabwärtsmischer (32) das Ausgangssignal (y) der nichtlinearen Übertragungsstrecke (18) in das Basisband umsetzen; und

bei der die Vergleichseinrichtung (26) ein digitaler Signalprozessor ist.

12. Schaltung gemäß einem beliebigen der Ansprüche 8 bis 11, bei der die Quantisierungseinrichtung (22) und die Digital/Analog-Wandler (34a, 34b) für den I- und Q-Kanal (20a, 20b) durch den gleichen Takt (38) getaktet werden, wobei jedoch der Takt für die Digital/Analog-Wandler für den I- und den Q-Kanal (20a, 20b) gegenüber dem Takt für die Quantisierungseinrichtung (22) durch eine Taktverzögerungseinrichtung (40) verschoben sind, um die durch die Tabelleneinrichtung (16) eingeführte Verzögerung zu kompensieren.

13. Schaltung gemäß Anspruch 11 oder 12, bei der die Hüllkurvenfassungseinrichtung (24) kalibriert wird, indem die quantisierten Hüllkurvenwerte und die Hüllkurve selbst in die Vergleichseinrichtung (26) eingegeben werden, wodurch eine Kennlinie der Hüllkurvenfassungseinrichtung (24) bestimmt werden kann, um die Vorverzerrungskoeffizienten in der Tabelleneinrichtung (16) zu vorbestimmten Zeitpunkten entsprechend zu korrigieren.

14. Verfahren zum Vorverzerren eines über eine nichtlineare Übertragungsstrecke (18) zu übertragenden Signals (v), mit folgenden Schritten:
Erfassen einer Hüllkurve des Signals;
Bilden von quantisierten Hüllkurvenwerten auf-

grund der erfaßten Hüllkurve;
Liefen von komplexen Vorverzerrungskoeffizien-
ten, die von den quantisierten Hüllkurvenwerten
und von einer vorab erfaßten Übertragungsfunk-
tion der nichtlinearen Übertragungsstrecken (18) 5
abhängen; und
komplexes Bewerten des über die nichtlineare
Übertragungsstrecke (18) zu übertragenden Si-
gnals (v) mit den komplexen Vorverzerrungskoeffi-
zienten, derart, daß die durch die nichtlineare Über- 10
tragungsstrecke (18) eingeführte Verzerrung nach
Betrag und Phase im wesentlichen kompensiert ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

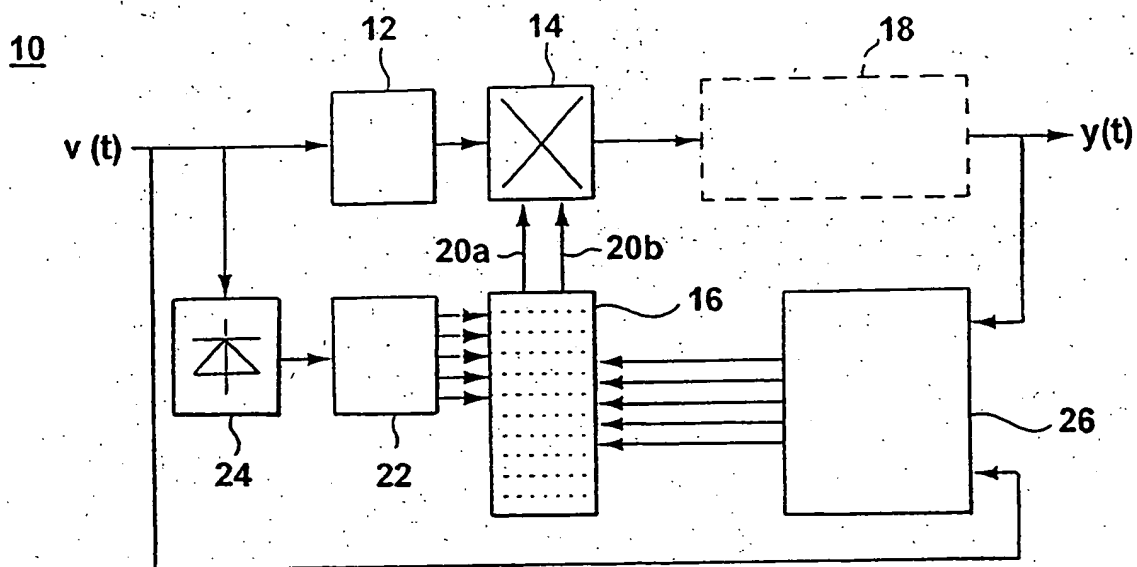


FIG.1

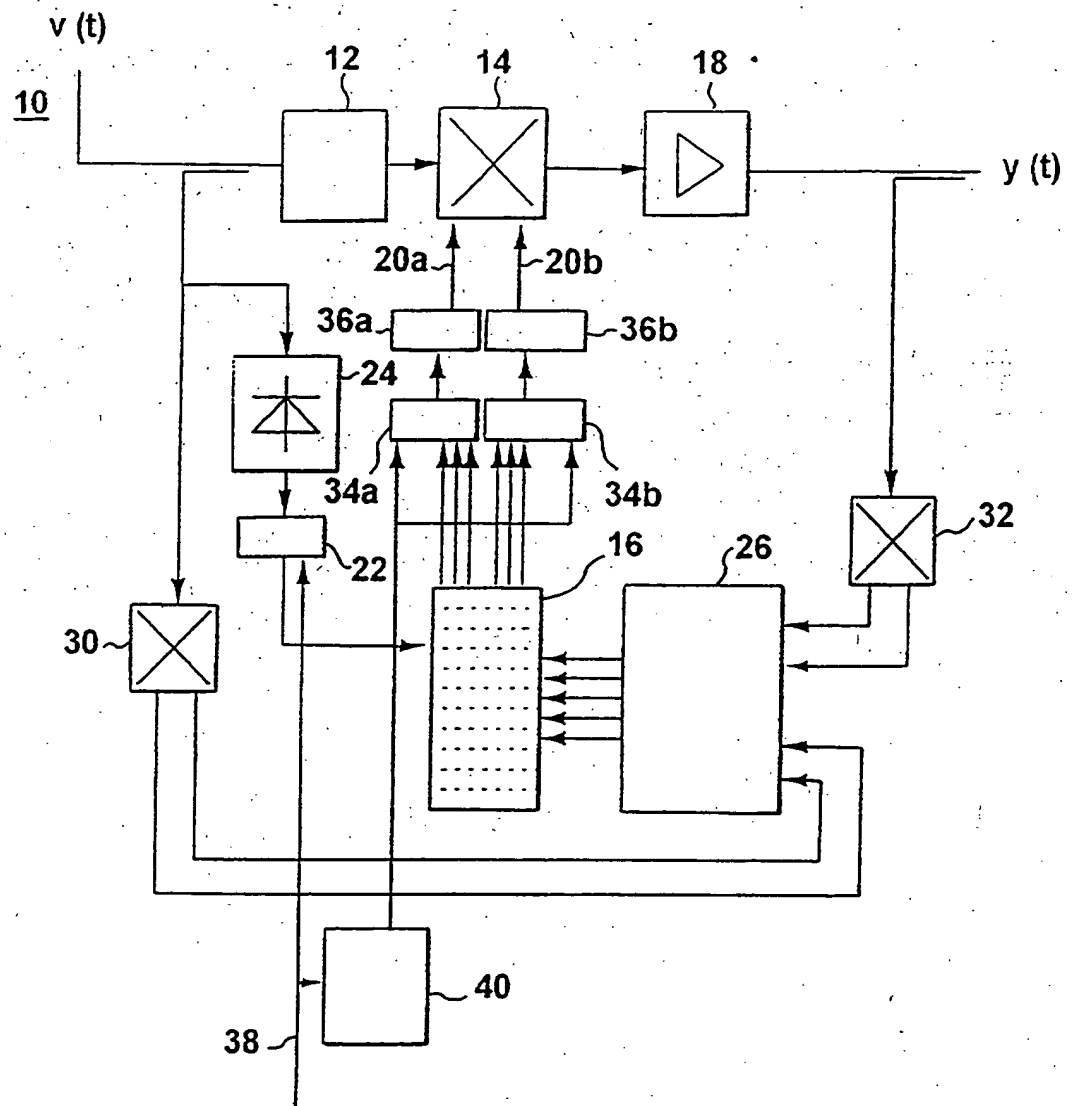


FIG.2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.